

VU Research Portal

The Radiative Temperature of the Earth at Microwave Frequencies

Holmes, T.R.H.

2008

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Holmes, T. R. H. (2008). *The Radiative Temperature of the Earth at Microwave Frequencies*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam]. s.n.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Nederlandse Samenvatting

Dit hoofdstuk is een samenvatting van:

De stralingstemperatuur van de Aarde op microgolf frequenties.

Introductie

Observaties zoals gemaakt vanaf kunstmanen ofwel satellieten in een baan om de aarde hebben een belangrijke rol gespeeld in het monitoren van klimaatsverandering over de afgelopen twee decennia. De microgolf band is een deel van het elektromagnetisch spectrum met eigenschappen die het aantrekkelijk maken voor aardwetenschappers, genteresseerd als zij zijn in het landoppervlak. Zo zijn wolken grotendeels transparant voor microgolven zodat deze straling informatie over de bodem en vegetatie bevat, voornamelijk gerelateerd aan temperatuur en vocht gehalte. Een bijkomend voordeel is dat dag en nacht observaties mogelijk zijn. Nu, met dertig jaar aan observaties beschikbaar, en met nog veel meer satelliet missies op stapel, worden er steeds meer toepassing gevonden voor aardobservatie met behulp van passieve microgolven. Hydrologen aan de Vrije Universiteit Amsterdam en NASA Goddard Space Flight Center hebben jarenlang samengewerkt aan het ontwikkelen van een bodemvocht dataset op basis van dit dertig jaar satelliet archief. Als deel van dit proces heeft de oppervlakte temperatuur van het land veel aandacht gekregen.

Dit proefschrift behandelt de link tussen de fysische temperatuur van het land oppervlak en de stralingstemperatuur zoals gemeten met een radiometer in de ruimte. Een beter begrip van de precieze temperatuur verdeling in de bovenste laag van de bodem zal ten goede komen aan methodes voor het verkrijgen van bodemvocht en vegetatie dichtheid parameters uit passieve microgolf observaties. Gedurende dit onderzoek is een model ontwikkeld dat het verticale temperatuur profiel in de bodem beschrijft voor de laag direct onder het oppervlak. Voor toepassing op grote heterogene gebieden, zoals bij passieve microgolf data het geval is, wordt het gezamenlijke effect van dit temperatuur profiel op de emissie vaak samengevat in een zogenaamde 'effectieve temperatuur'. Deze effectieve temperatuur wordt beschreven met behulp van de temperatuur op slechts twee dieptes en is verder afhankelijk van het vocht gehalte van de bodem. Het effect van temperatuur gradienten op microgolf emissie wordt belangrijker naarmate de laag van waaruit deze emissie komt toeneemt in dikte. Dit is het geval bij de binnenkort te lanceren SMOS satelliet met een L-band ra-

diometer. In het kader van deze nieuwe satelliet is er een nieuwe parameterizatie beschreven voor de effectieve temperatuur voor L-band radiometrie. In het laatste hoofdstuk wordt een stralingsoverdracht model gekoppeld aan een numeriek weersvoorspelling model om de helderheids temperatuur te berekenen aan de top van de atmosfeer. Deze voorspelling kan dan direct vergeleken worden met metingen vanaf satellieten. Dit model is flexibel opgezet en integreert verschillende modules voor elke component die bijdraagt aan de microgolf emissie. Hierdoor kan dit model nuttig zijn voor verder onderzoek naar stralingsoverdracht modellen.

De oppervlakte temperatuur van het land

Een veelgebruikte methode om de oppervlakte temperatuur van het land (T_s) te meten op mondiale schaal is door gebruik te maken van thermisch infrarood beelden. Deze methode geeft een zeer directe en fysische bepaling van T_s mits de emissiviteit van het oppervlak bekend is en er geen wolken aan de lucht zijn. Hier wordt een alternatieve methode beschreven die gebruik maakt van passieve microgolven. De 37 GHz vertikaal gepolariseerde helederdheidstemperatuur is gebruikt om de T_s te bepalen omdat dit beschouwd wordt als de meest geschikte microgolf frequentie voor het bepalen voor temperatuur. Dit kanaal is namelijk een goed compromis tussen een gereduceerde gevoeligheid voor de bodem onder de vegetatie en relatief hoge atmosferische doorlatendheid. Er wordt gedemonstreerd dat met een simpele lineaire relatie, nauwkeurige T_s waarden bepaald kunnen worden met deze frequentie, met een nauwkeurigheid van 1 Kelvin voor 70 % van het landoppervlak met ten minste enige vegetatie. In Woestijn gebieden kan de temperatuur niet nauwkeurig bepaald worden omdat dan de variabele bodem eigenschappen belangrijk worden, in het bijzonder bodemvocht. De precisie van de temperatuur zoals bepaald met deze methode zal naar verwachting tussen de 2 en 3 Kelvin liggen. Doordat de 37 GHz frequentie al 30 jaar lang door satellieten wordt gemeten is het mogelijk met deze methode een consistente lange klimatologie van oppervlakte temperatuur samen te stellen. Dit zou een waardevolle aanvulling zijn op huidige op infrarood gebaseerde studies. Omdat er tegenwoordig zelfs meerdere microgolf radiometers in banen om de aarde draaien, is het mogelijk om ook de dagelijkse temperatuur cycli te observeren. Omdat de partitionering van de energie balans aan het oppervlakte sterk gerelateerd is aan de oppervlakte temperatuur, kan kennis van de amplitude van de dagelijkse gang van belang zijn voor studies van latente en voelbare warmte stromen op mondiale schaal.

Temperatuurs profielen

Twee veld data sets zijn gebruikt om de temperatuurprofielen net onder het oppervlak te bestuderen. Het blijkt dat de algemeen gebruikte oplossingen van de thermische conductie van Van Wijk goed werken als ze worden toegepast op metingen in diepere lagen. De fout loopt echter op dicht bij het oppervlak, waar meer extreme temperatuur schommelingen voorkomen. De reden hiervoor is dat de methodes gebaseerd op Van Wijks oplossingen geen

rekening houden met warmte bronnen en lekken onder het oppervlak. In dit proefschrift wordt een nieuwe methode voorgesteld voor het modelleren van temperatuurprofielen op basis van een observatie op slechts een enkele diepte. Deze methode bestaat uit twee delen; 1) het modelleren van het instantane grondwarmtestroom profiel op basis van netto straling en de grondwarmtestroom op 5 cm diepte; en 2) het gebruik van deze grondwarmtestroom om een enkele temperatuur meting te extrapoleren tot een compleet temperatuur profiel. Het nieuwe model is gevalideerd onder verschillende veld en weersomstandigheden, met een lage fout van 1 tot 3 Kelvin (met hogere fouten in droge omstandigheden). Ten slotte is het hier gepresenteerde model getest onder de beperktere invoergegevens zoals die beschikbaar zullen zijn in satelliet toepassingen. Deze beperkingen zullen lijden tot slechts een kleine toename van de algemene fout.

Effectieve temperatuur voor L- band radiometrie

Een nauwkeurige bepaling van de effectieve temperatuur is belangrijk voor het verkrijgen van de bodem emissiviteit van passieve microgolf observaties, en bij gevolg ook voor het verkrijgen van bodemvocht. De exacte berekening van de effectieve temperatuur vereist fijne profiel metingen van zowel temperatuur en bodemvocht. De beschikbaarheid van een twee jaar lange dataset van deze variabelen, gemeten op de SMOSREX (Surface Monitoring Of the Soil Reservoir EXperiment) maakt het mogelijk om de effectieve temperatuur te bestuderen op de seizoenale tot inter-jaarlijkse schaal. Deze studie laat zien dat huidige parameterizaties de seizoenale variaties in emissie uitdoving niet adequaat beschrijven. Om deze reden wordt een nieuwe parameterizatie voorgesteld die stabiel is op de seizoenale tot interjaarlijkse schaal.

Microgolf emissie model

In het laatste hoofdstuk wordt een microgolf emissie model gepresenteerd (CMEM) dat onderzoek zal faciliteren naar de fouten bronnen voor L-band data assimilatie. Een numeriek weersvoorspelling model is gekoppeld aan een stralingsoverdracht model om de helderheids temperatuur te berekenen aan de top van de atmosfeer. Een fouten overdracht studie is toegepast op fouten die gintroduceerd worden door: (1) de parameterizaties van het stralingsoverdracht model, (2) externe geofysische grootheden voor de stralingsoverdracht berekeningen, en (3) een imperfect weersvoorspelling model. Van de bestudeerde parameterizaties introduceren het vegetatie model en het dielectrisch model de grootste potentiële fouten. Echter, de grootste fout in helderheids temperatuur is waarschijnlijk gerelateerd aan het gebruik van een externe vegetatie dataset. De potentiële fouten zijn vaak groter dan de variantie in de helderheids temperatuur zoals gerelateerd aan een imperfect weersmodel. Tot slot is CMEM gebruikt voor een voorlopige kalibratie/validatie studie voor SMOS. Hiervoor is met CMEM de mondiale L-band helderheids temperatuur berekend aan de top van de atmosfeer. De invoer voor dit experiment bestaat uit oppervlakte variabelen van ECMWF's

40 jaar her-analyse (ERA-40) en vegetatie data van de ECOCLIMAP dataset. De gemodelleerde helderheids temperaturen werden vervolgens vergeleken met (historische) observaties van de S-194 passieve microgolf radiometer aan boord van het Skylab ruimte station uit de jaren zeventig. Gebruik makende van mondiaal constante waarden voor oppervlakte ruwheid en de vegetatie structuur coëfficiënt is het mogelijk om de gemiddelde helderheids temperatuur te benaderen.

Verder Onderzoek

Dit proefschrift geeft veel aanknopingspunten voor verder onderzoek. De oppervlakte temperatuur, gevalideerd ten opzichte van veld waarnemingen, zal vergeleken moeten worden met infrarood temperatuur producten. Naar verwachting zal blijken dat de twee methodes complementair zijn. Ten eerste kan de Ka-band temperatuur mogelijk gebruikt worden voor het filteren van infrarood data die gecorrumped is door de aanwezigheid van wolken. Ten tweede, de IRT data kan gebruikt worden om de fout in de Ka band te controleren en mogelijk te beperken. Als beide studies succesvol zijn zouden de twee temperatuur producten gecombineerd kunnen worden in een enkel superieur product met veel minder gaten in de set dan de individuele producten.

Het modelleren van temperatuur profielen op de mondiale schaal zal enkele extra uitdagingen presenteren die niet behandeld zijn op de studie velden met kale bodem. Twee belangrijke zijn: 1) de grove ruimtelijke resolutie van de netto straling producten die momenteel beschikbaar zijn, en 2) het uitbreiden van de methode naar gebieden met vegetatie zal het nodig maken de afname van de netto straling te modeleren als gevolg van die vegetatie. Hoewel de vegetatie het model meer complex zal maken, heeft het ook het effect om de temperatuur gradienten in de bodem te verkleinen zodat de potentiële fouten omlaag gaan.

Bij het Europees centrum voor de middellange termijn weersvoorspelling (ECMWF), wordt CMEM momenteel klaargemaakt om data van de nieuwe SMOS (bodemvocht en saliniteit) satelliet direct te kunnen integreren in een data assimilatie systeem. Een op zichzelf staande versie van dit model is beschikbaar voor de wetenschappelijke gemeenschap. Dit kan potentieel een platform zijn om nieuwe parameterizaties en methodes te testen en vergelijken.

De ultieme combinatie van alle ingrediënten van dit proefschrift zou kunnen draaien om CMEM. Het zou bodemvocht bepaling van de geplande L- band radiometer SMOS faciliteren. In deze voorgestelde aanpak worden infrarood en Ka-band temperatuur samen gebruikt om de oppervlakte temperatuur te bepalen. Deze is momenteel inaccuraat in het weersmodel van ECMWF en wordt niet gebruikt in CMEM. In combinatie met de in dit proefschrift voorgestelde profiel methode kan dit een ondersteuning zijn voor de bepaling van de effectieve temperatuur voor L-band. Omdat de vegetatie database tot grote onzekerheden leidt wordt voorgesteld om de polarisatie informatie van de microgolf data te gebruiken om de vegetatie invloed te isoleren. Op deze manier worden onzekerheden in de temperatuur en de vegetatie beperkt en kan de data assimilatie zich richten op het verbeteren van de bodemvocht gegevens.